

ЧЕРНОМОРСКИЙ ПОДСПУТНИКОВЫЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН

*В.В. Пустовойтенко, Ю.В. Терехин,
Л.Н. Радайкина, А.Н. Большаков,
С.В. Бородин, А.С. Курекин*,
В.Б. Ефимов**

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: v2pust@mail.ru

* ЦРЗЗ им. А.И. Калмыкова

г. Харьков, ул. Академика Проскуры, 12

E-mail: vby_vby@mail.ru

В статье рассматриваются основные этапы создания экспериментального радиофизического полигона и анализируется его роль в развитии в институтах Академии наук Украины работ в области спутниковой гидрофизики и оперативной океанографии. Охвачен период времени примерно с начала 70-х до окончания 90-х годов.

Введение. Нынешний год в Морском гидрофизическом институте НАН Украины (МГИ НАН Украины) проходит под знаком 80-летия со дня основания. На фоне этого события практически незаметной осталась другая дата – 30-летие запуска космического аппарата (КА) «Космос-1076» – первого отечественного океанографического КА космической океанографической системы «Океан», в создании которой институт принимал самое деятельное участие. Одним из первых шагов на пути развития работ в области спутниковой океанологии в институте (да и в Украине тоже) стало создание в 1975 – 1976 гг. Черноморского радиофизического полигона в результате неформального объединения усилий специалистов МГИ НАН Украины (в те годы – МГИ АН УССР), имевших обширный опыт изучения морских акваторий в различных регионах Мирового океана на основе контактных измерений *in situ*, и ИРЭ НАН Украины (в те годы – ИРЭ АН УССР)¹, имевших многолетний опыт изучения распространения радиоволн на морских трассах и их рассеяния взволнованной морской поверхностью [1, 2]. Полигон стал одним из весомых шагов на пути создания отечественной космической оперативной океанографической системы «Океан». Его организация позволила объединить усилия радиофизиков и океанологов, предпринимавших в те

годы первые шаги по внедрению методов и средств дистанционного зондирования в практику морских исследований.

Представляет интерес рассмотреть историю создания полигона и оценить его роль в развитии работ в области отечественной спутниковой гидрофизики (океанологии).

Развитие работ в области дистанционного зондирования морских акваторий в 50-х – 70-х годах. В конце 50-х – начале 60-х годов прошлого столетия среди ученых-радиофизиков, занимавшихся проблемами морской радиолокации, сложилось понимание того, что формируемый морской поверхностью радиолокационный (РЛ-) сигнал является уникальным источником информации о ее характеристиках. Обобщением взглядов на морскую радиолокацию именно с этой стороны стала книга [1], выпущенная в 1962 г. издательством Академии наук УССР. Собственно говоря, именно с этого момента и начинается развитие *радиоокеанографии*² – нового для того времени направления науки, ставившего своей задачей разработку и внедрение в практику морских исследований методов и средств дистанционного определения параметров взволнованной морской поверхности и приподного слоя атмосферы.

К началу 70-х годов в стране сложилось несколько радиоокеанографических научных центров – Харьковский, Киевский, Московский, Рижский, Таганрогский и другие³. Координировать эту работу «на общественных началах» пыталась, заметим – довольно успешно, группа сотрудников ГОИН ГУГМС (Государственный океанографический институт Главного управления гидрометеорологической службы СССР). Она же пыталась организовать и океанографическое сопровождение радиоокеанографических работ, хотя, в силу ее малочисленности, сделать это удавалось далеко не всегда. Попытки же радиофизиков увлечь своими работами представителей академической океанологической науки интереса со стороны последних не вызывали. Возможно в связи с тем, что их взоры были обращены в сторону океанских просторов и, соответственно, приоритеты отдавались работам в области физики и химии океана.

В 1968 и 1971 гг. под эгидой ИРЭ АН СССР (Институт радиотехники и электроники, г. Москва) с помощью КА «Космос-243» и «Космос-384» был проведен космический эксперимент по использованию радиофизических систем для получения геофизической инфор-

мации [3]. МГИ АН УССР в том же 1971 г. осуществил экспериментальную передачу океанографической информации, получаемой с помощью установленной в акватории Черного моря автономной буйковой станции, через КА «Космос-426» (бортовой ретранслятор был изготовлен специалистами института) на расположенный в институте радиоцентр [4]. И хотя названные работы носили демонстрационный характер, а использовавшиеся для их постановки КА не были специализированными океанографическими⁴, они сыграли свою заметную роль в развитии отечественной спутниковой океанографии:

– продемонстрировали возможность использования космических систем ДЗЗ для получения океанографической и геофизической информации;

– познакомили между собой коллективы разработчиков КА и физиков (радиофизиков, гидрофизиков), что также было немаловажно.

В середине 70-х годов в СССР была начата разработка специализированных океанографических КА оперативного мониторинга морских акваторий и создание эксплуатационной космической системы исследования природных ресурсов Земли «Ресурс» и ее океанографической подсистемы «Океан». Среди нескольких возможных прообразов океанографического КА был выбран один из семейства КА, разработанных специалистами КБ «Южное» и серийно изготавливаемых «Южным машиностроительным заводом».

Постановщиком экспериментальных работ на океанографических КА и Головной организацией по их комплексам ДЗЗ в целом стал МГИ АН УССР, уже знакомый специалистам КБ «Южное» по работам с КА «Космос-426». Институту (научный руководитель работ – Б.А. Нелепо, ответственный исполнитель – Ю.В. Терехин) и предстояло создать кооперацию организаций, способных в сжатые сроки реализовать ответственное правительственное задание...

* * *

Одним из заметных событий в радиоокеанографии 70-х годов стала Каспийская океанографическая экспедиция с участием практически всех научных коллективов СССР, работавших в этой области (1972 г., организатор – ГОИН). Анализируя полученную информацию А.И. Калмыков и В.В. Пустовойтенко в соавторстве с другими сотрудниками ИРЭ АН УССР предложили гипотезу, объясняющую ряд особенностей формирования

морской поверхностью РЛ-сигнала, не вписывавшихся в существовавшее в то время представление [2] о физике рассеяния радиоволн морской поверхностью. Подготовленные к публикации материалы были направлены в журнал «Известия ВУЗов СССР, серия "Радиофизика"»⁵. И здесь произошло, в общем-то ординарное, но, как оказалось, с далеко идущими последствиями, событие. Была получена прекрасная рецензия, но... с рекомендацией «опубликовать материалы в журнале геофизического профиля». В конечном итоге они и были опубликованы в журнале «геофизического профиля» [5], но – в США⁶.

Курировал публикацию один из руководителей космической программы США в области дистанционного зондирования, профессор Р.К. Мур (*R.K. Moore*), который захотел встретиться с А.И. Калмыковым⁷.

Встреча состоялась в Москве на квартире Б.А. Нелепо, ставшего к тому времени директором МГИ АН УССР – Головной организации по комплексу ДЗЗ океанографических КА. Во встрече участвовали также ведущие сотрудники МГИ АН УССР Ю.В. Терехин и С.В. Доценко.

Организация радиофизического полигона. Важными результатами этой встречи стали:

– решение об участии ИРЭ АН УССР в работах по созданию океанографических КА (по сути, было завершено формирование кооперации разработчиков комплексов ДЗЗ океанографических КА, ИРЭ АН УССР стало Головной организацией в части радиофизической аппаратуры – научный руководитель, директор ИРЭ АН УССР В.П. Шестопалов, ответственный исполнитель А.И. Калмыков);

– договоренность о создании на базе Черноморского отделения (ЧО) МГИ (с 1983 г. – Экспериментальное отделение) радиофизического полигона для выполнения совместных работ в области дистанционного зондирования морских акваторий.

При этом было принято во внимание, что:

– ЧО МГИ в тот период располагало опытом и техническими средствами океанографических измерений;

– пгт. Качивели удален от источников индустриальных помех и отличается прозрачной атмосферой, что важно при работах с радиометрическими комплексами.

Не случайно там расположен радиотелескоп Крымской астрофизической обсерватории (в настоящее время – НИИ «Крым-

ская астрофизическая обсерватория») РТ-22, а С.П. Королев в 1959 г. разместил на горе Кошка временный Центр дальней космической связи, принявший снимки обратной стороны Луны (см., например [6]).

На полигон был передислоцирован экспериментальный радиофизический комплекс в составе импульсного четырехволнового радиолокационного СВЧ-поляриметра, системы регистрации, обработки и архивирования информации и вспомогательного оборудования.

Радиофизические и электромеханические системы и оборудование были установлены в фургонах на шасси автомобилей ЗИЛ-151, в универсальных автомобильных прицепах и в фургонах от РЛС СОН-4, что придавало комплексу высокую мобильность и автономность.

Руководство радиофизическими работами на полигоне было возложено на А.И. Калмыкова, ответственные исполнители работ по направлениям – А.С. Курекин, А.П. Пичугин, В.В. Пустовойтенко, В.Б. Ефимов, Ю.М. Галаев, В.Ю. Левантовский, (см. фото, приведенное на рисунке 1).



Рисунок 1 – Один из первых составов экспедиционной группы ИРЭ АН УССР – участники работ на радиофизическом полигоне. Слева направо: В.Ю. Левантовский, А.П. Пичугин, Ю.М. Галаев, А.И. Калмыков, В.В. Пустовойтенко, А.С. Курекин, В.Б. Ефимов

От МГИ АН УССР в создании радиофизического полигона и в выполнении работ на нем участвовали Ю.В. Терехин (научный руководитель от МГИ АН УССР), Г.А. Абрамсон, А.Н. Большаков, В.А. Кровотынец, М.В. Иванчик, Б.С. Сальников, В.М. Шейн, О.Г. Щербак, Е.М. Эпштейн, В.М. Потипак и другие сотрудники.

Энергоснабжение полигона и эксплуатация его инженерных сетей (включая штормбассейн) обеспечивалось соответствующими подразделениями ЧО МГИ под руководством М.Г. Перова, а с 1983 г. – Л.А. Ковешникова.

Радиофизический измерительный комплекс. Радиофизическое ядро полигона составлял импульсный *четырёхволновый СВЧ-поляриметр*, позволявший проводить измерения характеристик рассеянного морской поверхностью РЛ-сигнала одновременно на трех (из четырех) длинах радиоволн в комбинации 0.8, 3.2 и 10 или 0.8, 3.2 и 50 см. *Передающая* система создавала зондирующие импульсы с линейной (вертикальная, горизонтальная, произвольная наклонная) и круговой (правая или левая) поляризацией излучения. Длительность зондирующего импульса в каждом СВЧ-канале могла изменяться в пределах от 40 нс до 2 мкс. *Приемная* система обеспечивала одновременный прием двух поляризационных составляющих рассеянного сигнала – основной и деполаризованной.

Внешний вид антенной системы СВЧ-поляриметра показан на рисунке 2.

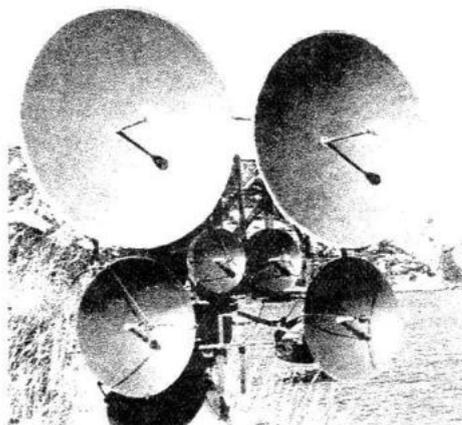


Рисунок 2 – Антенная система СВЧ-поляриметра

Верхний ряд – передающая (левая) и приемная (правая) антенны длинноволновых каналов (50 и 10 см), средний – антенны 8-мм канала и нижний – антенны 3-см канала. РЛ-измерения сопровождалась фотосъемкой морской поверхности с помощью 35-мм фотокамеры РФК-5 (портативных видеокамер в то время не существовало), оснащенной телеобъективом МТО-1000. Размещалась она между антеннами нижнего ряда.

На полигоне использовались и другие экспериментальные РЛ-системы, работавшие как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

Авиационная информационно-измерительная система. Измерения в открытом море проводились с помощью авиационной информационно-измерительной системы, развернутой на борту вертолета МИ-8 (НПО «Взлет», г. Москва). Ее основой стала РЛС, работавшая

в 3-см диапазоне радиоволн и имевшая вертикальную поляризацию излучения. Ее вдоль-фиюзеляжная антенна формировала диаграмму направленности с главным лепестком, имеющим ширину 1.1° в азимутальной плоскости и 40° в угломестной. Длительность зондирующего импульса изменялась в пределах от 20 нс до 2 мкс.

МГИ АН УССР дополнял радиофизические наблюдения акватории Черного моря аэровизуальными, выполняемыми с борта самолета-лаборатории Л-410.

Океанографический информационно-измерительный комплекс. Ядром океанографического информационно-измерительного комплекса полигона стали существовавшие в то время в ЧО МГИ волноизмерительная и гидрометеорологическая системы, функционирование которых обеспечивалось А.К. Кулиным. Он же обеспечивал волнографические измерения и при проведении радиофизических исследований в шторм-бассейне.

Система регистрации, обработки и архивирования информации. Регистрация информации обеспечивалась двумя подсистемами: *аналого-цифровой*, построенной на основе магнитофонов МАГ-8М-II и МЭЗ-28 и *цифровой*, созданной на основе магнитофонов станции приема спутниковой телеметрической информации МА-9, внешний вид которых показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Устройство цифровой регистрации информации

Первая система использовалась, преимущественно, в составе авиационной информационно-измерительной системы. Вторая – совместно с СВЧ-поляриметром.

Комплекс аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей и других устройств, обеспечивающих сопряжение радиофизических средств с системами регистрации информации, был разработан специалистами СКТБ

ИРЭ АН УССР (руководитель разработки – М.В. Соломко).

Предварительная и тематическая обработка получаемой информации выполнялась на малой ЭВМ «Наири-К». Некоторые задачи тематической обработки решались на вычислительном центре (ВЦ) МГИ АН УССР, оснащенном более мощной ЭВМ «М-220М».

Создание аналого-цифровой и цифровой систем регистрации информации и организация обработки данных непосредственно на полигоне были существенным шагом вперед, поскольку это позволило ускорить цикл анализа информации и корректировать методику выполнения проводимых исследований.

Значение радиофизического полигона для развития работ в области спутниковой гидрофизики. На полигоне выполнен обширный цикл работ, направленных на развитие теории рассеяния радиоволн морской поверхностью и на совершенствование представлений о закономерностях формирования морской поверхностью РЛ-сигнала в различных условиях волнообразования, на отработку методики определения основных океанографических параметров с помощью РЛС, работающих в сантиметровом диапазоне радиоволн, в том числе:

- исследованы вероятностные характеристики РЛ-сигнала, формируемого однородной и неоднородной морской поверхностью;
- изучены особенности РЛ-наблюдения и обнаружения на морской поверхности пленок поверхностно-активных веществ, в том числе – нефтепродуктов⁸;
- исследованы особенности зеркального отражения радиоволн от морской поверхности⁹;
- отработаны методики использования РЛ-систем для определения основных океанографических параметров морской поверхности и т.д.

Основные результаты исследований, выполненных на полигоне, опубликованы, например, в [7–13].

На полигоне можно было встретить не только сотрудников МГИ и ИРЭ – здесь в неформальной обстановке встречались разработчики КА, руководители работ по тематике в Головных организациях и ведущие разработчики комплексов ДЗЗ (рабочий момент одной из таких встреч запечатлен на приведенной на рисунке 4 фотографии), обсуждались решения, определявшие направления развития отечественной спутниковой океанологии. Здесь же

читали свои обзорные лекции ведущие специалисты в области ДЗЗ с мировыми именами – Р.З. Сагдеев (директор ИКИ АН СССР), Н.А. Арманд (заместитель директора ИРЭ АН СССР), J. Apel (NOAA, США) и др.



Рисунок 4 – Рабочая встреча на радиофизическом полигоне. Слева направо: В.П. Благуи (ведущий конструктор, КБ «Южное»), И.А. Вдовиченко (зав. проектным отделом КБ-3, КБ «Южное»), генеральный конструктор КБ «Южное» В.Ф. Уткин, директор МГИ АН УССР Б.А. Нелепо и А.И. Калмыков (ИРЭ АН УССР) [13]

* * *

По мере создания элементов космической системы (КС) «Океан» изменялись решаемые задачи и, соответственно, приоритеты в работах, выполняемых на радиофизическом полигоне, изменялось его техническое оснащение. Сам же радиофизический полигон, расширяясь, постепенно трансформировался в Черноморский контрольно-калибровочный полигон (ЧККП) [14–16].

В этот период:

- в акватории Голубого залива была установлена стационарная платформа (см. рисунок 5), что позволило существенно расширить круг работ, выполняемых на полигоне;

- проводилась предполетная подготовка и калибровка радиометрического комплекса «Радон», устанавливавшегося на борту КА «Космос-1076», «Космос-1151» и других КА КС «Океан» (руководитель работ – В.А. Плющев, МНИИП¹⁰);

- создан радиоцентр, обеспечивающий регулярный прием гидрометеорологической и другой информации по региону Азово-Черноморского и Средиземноморского бассейнов (В.М. Потинак);

- в МГИ АН УССР на базе самолета АН-30 (Киевский авиаотряд, № 30030, см. рисунок 6) создана авиационная информационно-измерительная система, обеспечивавшая выполнение инструментального мониторинга ак-

ватории Черного и Азовского морей в видимом (многозональная фотокамера МКФ-6М) и инфракрасном (ИК-) диапазонах.



Рисунок 5 – Стационарная океанографическая платформа

Она же использовалась и для предполетных океанографических тренировок экипажей орбитальной космической станции «Салют-6»;



Рисунок 6 – Самолет-лаборатория АН-30

– при содействии сотрудников НИИПа¹¹ (А.С. Селиванов, Ю.М. Тучин) в МГИ АН УССР был создан автономный пункт приема спутниковой информации¹² (АППИ), передаваемой в частотном диапазоне 137 МГц. Упрощенные АППИ разворачивались также на ПИС института и в аэропорту Симферополя. Регистрация информации в то время осуществлялась с помощью приемных фототелеграфных устройств «Нева» и «Паллада». В последующем АППИ института был оснащен малой ЭВМ «Наири-3», что позволило отказаться от использования фототелеграфной аппаратуры и перейти на цифровой прием и обработку информации. Дальнейшим развитием АППИ стало его оснащение станциями приема спутниковой информации, передаваемой в частотном диапазоне 1.7 ГГц в аналоговом (КА *METEOSAT*) и в цифровом виде (КА *NOAA*, формат *HRPT*)¹³. В последующем приемный комплекс АППИ был дополнен системами приема гидрометеорологической

информации, передаваемой по радиоканалам коротковолнового диапазона и распространяемой по сети *Internet*.

Забегая несколько вперед, отметим, что за время, прошедшее с момента создания, АПИ МИ претерпел несколько этапов модернизации – в настоящее время он оснащен компьютерными системами регистрации и обработки информации и обеспечивает проведение оперативного спутникового мониторинга Азовского, Черного, Каспийского, Балтийского, Аральского морей и восточной части Средиземноморья¹⁴.

Подобный по своим возможностям АПИ создан и в ИРЭ АН УССР:

- отработана методика определения пространственных спектров волнения на основе авиационных измерений в видимом диапазоне [17, 18]¹⁵;

- отработана методика выполнения океанографических и метеорологических измерений с помощью сети автономных дрейфующих буйковых станций (С.В. Мотыжев), что позволило институту в последующем стать равноправным участником международной Комиссии сотрудничества по буям сбора данных (*DBCP*);

- для обработки спутниковой информации в МИ АН УССР создан вычислительный центр, наиболее мощный в Крыму в то время;

- создан оперативный архив спутниковой информации, полученной с помощью КА «Космос-1076» и «Космос-1151»;

- разработана методика и технические средства интерактивной обработки многозональных снимков морских акваторий;

- разработана методика океанографической интерпретации спутниковой информации, получаемой в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах;

- проведен цикл отработки систем отечественной спутниковой РЛС БО (КА «Космос-1500», запущен на орбиту ИСЗ в 1983 г. – его внешний вид показан на рисунке 7). Отметим, что после его запуска в сжатые сроки было освоено промышленное производство РЛС БО¹⁶ и она более 20 лет являлась штатным средством ДЗЗ на борту отечественных океанографических КА (последний из них, «Січ-1М», был запущен в 2004 г.).

* * *

ИРЭ АН УССР после запуска первых океанографических КА сосредоточил свои усилия на авторском сопровождении радио-

физического комплекса ДЗЗ, на создании методов океанографической интерпретации радиофизической информации, на разработке перспективных спутниковых РЛ-комплексов мониторинга морских акваторий.

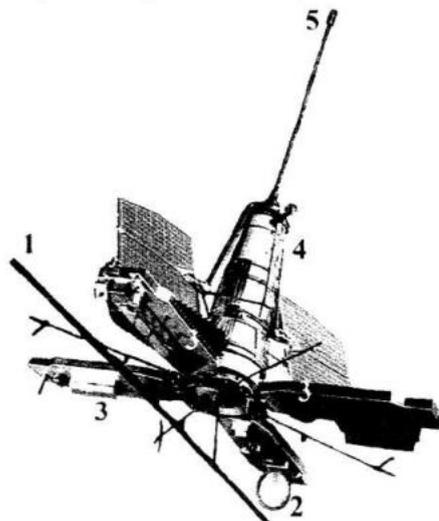


Рисунок 7 – Космический аппарат «Космос-1500»: 1 – антенна РЛС БО; 2 – антенна комплекса «Радон»; 3 – блоки РЛС БО; 4 – приборный отсек; 5 – гравитационный стабилизатор

Основываясь на опыте выполнения радиоокеанографических работ на полигоне в ИРЭ АН УССР был создан авиационный многоцелевой РЛ-комплекс (МРЛК) [19], много лет работавший на борту самолета ИЛ-18Д, обеспечивая навигацию в Арктике, мониторинг месторождений нефти и газа на шельфе, выполнение геологоразведочных работ и т.д.

Дальнейшее развитие работ в области спутниковой гидрофизики. В 1995 г. решением НАН Украины и Национального космического агентства Украины (НКАУ) образован Центр радиофизического зондирования Земли (ЦРЗЗ), его основателем и первым директором стал А.И. Калмыков – в настоящее время Центр носит имя А.И. Калмыкова, директором Центра является В.Н. Цымбал, ученым секретарем А.Я. Матвеев. Развивая работы в области дистанционного зондирования специалисты ЦРЗЗ им. А.И. Калмыкова, Центра аэрокосмических исследований Земли (ЦАКИЗ, г. Киев. Директор – чл.-корр. НАН Украины В.И. Лялько) и АНТК им. О.К. Антонова создали авиационный комплекс АКДЗ-30 (авіаційний комплекс дослідження Землі), которым оснащен самолет АН-30 МЧС Украины [13].

В МИ АН УССР радиофизические работы стали мощным стимулом изучения особенностей «тонкой» структуры морской поверхности:

– в отделе «Взаимодействия океана и атмосферы» (зав. отделом В.В. Ефимов) появилась лаборатория «Прикладной гидрофизики», выросшая затем в самостоятельный одноименный отдел (зав. отделом – Г.Н. Христофоров, ведущие специалисты А.С. Запевазов и В.Е. Смолов) [20, 21];

– в отделе «Динамики океанических процессов» (зав. отделом Г.К. Коротаев) начаты, а в последующем – в отделе «Дистанционных методов исследований» (зав. отделом В.Н. Кудрявцев), продолжены работы по изучению закономерностей обрушения морских волн (В.А. Дулов) и особенностей формирования и развития спектра высокочастотных составляющих морского волнения (В.Н. Кудрявцев, В.А. Дулов) [22, 23];

* * *

В последние годы в институте интенсивно развивается новое направление «Оперативная океанография» [24], создано «Отделение оперативной океанографии» (научный руководитель – чл.-корр. НАН Украины Г.К. Коротаев, его заместители С.В. Станичный, А.И. Кубряков, ученый секретарь – В.В. Пустовойтенко) в составе отделов «Динамики океанических процессов» (зав. отделом, чл.-корр. НАН Украины Г.К. Коротаев), «Оптики моря» (зав. отделом М.Е.Г. Ли), «Дистанционных методов исследований» (зав. отделом С.В. Станичный), «Морских прогнозов» (зав. отделом Ю.Б. Ратнер).

На океанографической платформе постоянно осуществляется мониторинг температуры и скорости течения в толще вод от поверхности до дна (ЭО МГИ, директор – А.С. Кузнецов), изучаются оптические свойства воды (отдел оптики моря МГИ) и ее экологические показатели (Т.Я. Чурилова, ИнБИОМ), исследуется поведение на морской поверхности тонких пленок поверхностно-активных веществ (В.В. Малиновский, В.А. Дулов), изучаются особенности структуры поля ветра вблизи морской поверхности (Ю.П. Соловьев), выполняются и другие работы.

В институте создана и поддерживается в квазиоперативном режиме гидродинамическая модель акватории Черного моря, усваивающая разноплановую спутниковую и гидрометеорологическую информацию и позволяющая рассчитывать эволюцию основных гидродинамических полей вблизи поверхности и в толще морских вод (руководитель работ, чл.-корр. НАН Украины Г.К. Коротаев).

Разносторонние работы в области радиофизического зондирования природной среды выполняются и в ЦРЗЗ им. А.И. Калмыкова.

Заключение. Таким образом, организация радиофизического полигона (а затем и ЧККП) и проведенные на нем исследования безусловно сыграли свою положительную роль в развитии работ в области дистанционного зондирования морских акваторий и спутниковой гидрофизики как в институтах Академии наук Украины, так и в Украине в целом.

* * *

В завершение статьи мы считали целесообразным вспомнить еще раз имена сотрудников МГИ АН УССР, ИРЭ АН УССР и других организаций, внесших свой вклад в создание радиофизического и Черноморского контрольно-калибровочного полигона, разработавших применявшиеся в исследованиях технические средства и методики проведения радиофизических и сопровождавших их океанографических исследований и выполнявших на полигоне в течение ряда лет широкий спектр исследований¹⁷:

– А.И. Калмыков (научный руководитель работ), Ю.М. Галаев, А.И. Губаренко, С.Н. Диденко, В.Б. Ефимов, А.С. Курекин, В.Ю. Левантовский, Ю.А. Лемента, А.П. Пичугин, В.В. Пустовойтенко (до 1977 г.), М.В. Солонко, А.Б. Фетисов, И.М. Фукс, В.Н. Цымбал и другие сотрудники (ИРЭ АН УССР и СКТБ ИРЭ АН УССР);

– Ю.В. Терехин (научный руководитель), Г.А. Абрамсон, А.Н. Большаков, С.В. Бородин, В.И. Ведишев, Г.А. Гришин, С.А. Гродский, М.В. Иванчик, А.М. Игнатов, И.А. Изюмин, Ю.В. Кихай, И.В. Колежук, В.А. Кровотынецев, В.Н. Кудрявцев, В.М. Люлько, В.В. Малиновский, А.А. Никишов, А.В. Паевский, В.В. Пустовойтенко (с 1977 г.), Л.Н. Радайкина, В.Г. Сивков, В.С. Суетин, С.В. Станичный, Л.К. Фомина, В.М. Шейн, В.Ф. Шермазан, О.Г. Щербак, Ю.Т. Щетинин, Е.М. Эпштейн и другие сотрудники (МГИ АН УССР и СКТБ МГИ АН УССР).

– Е.Д. Шамровский, С.А. Землянская, Ю.М. Сурошников и другие сотрудники (Представительство заказчика).

Авторские примечания:

¹ Далее по тексту приведены названия предприятий и организаций, соответствующие рассматриваемому в статье периоду.

² В 1983 г. Президиум Академии наук СССР присудил Золотую медаль им. А.С. Попова академику АН УССР С.Я. Брауде за фундаментальные работы в области радиотехники, радиофизики и радиоастрономии. В Постановлении отмечено, что результаты работ в области радиоокеанографии «приобрели особую актуальность в связи с развитием космической океанографии».

³ Мы сознательно не приводим названия организаций, поскольку их перечисление заняло бы непозволительно много места.

⁴ КА «Космос-243» и «Космос-384» представляли собой КА типа «Зенит-2М», оснащенные автономным модулем «Наука». Обобщенные параметры орбиты: наклонение – 72°, высота орбиты в перигее – 210 км, высота в апогее – 320 км.

КА «Космос-426» представлял собой унифицированный КА типа «ДС-У2-К» и был предназначен для исследования земной магнитосферы. Начальные параметры его орбиты: наклонение – 74°, высота орбиты в перигее – 394 км, высота орбиты в апогее – 2012 км, период обращения – 109.3 мин.

Интересно, что КА сошел с орбиты и сгорел в плотных слоях земной атмосферы в 2002 г. Его полет продолжался 11 299 дней.

⁵ «Радиофизика» была журналом, в котором традиционно публиковались работы сотрудников ИРЭ АН УССР, занимавшихся проблемами распространения радиоволн, радиолокации, радионавигации и т.д.

⁶ По рекомендации члена редколлегии «Радиофизики», заместителя директора ИРЭ АН УССР С.Я. Брауде. Отметим, что одним из условий для получения от Президиума АН УССР разрешения «на вывоз материалов за границу», было само собой разумеющееся опережающее опубликование подобных материалов в отечественной научно-технической печати. Такой публикацией стал препринт [25]. К сожалению, в настоящее время эта традиция во многом утрачена и приоритет «первой публикации» зачастую отдается зарубежным изданиям.

⁷ Имя А.И. Калмыкова уже было известно научной общественности США – ранее соавторы работы [2] были отмечены специальным Дипломом Института (общества) инженеров по электротехнике и радиоэлектронике – *IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)*, международной некоммерческой ассоциации специалистов.

⁸ Работы проведены при участии НИС «Муксу» (МГИ АН УССР).

⁹ Работы проведены совместно с ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова – научный руководитель Е.А. Штагер, зав. сектором ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова).

¹⁰ МНИИП (Московский Научно-исследовательский институт приборостроения, ныне – концерн радиоаппаратостроения «Вега»).

¹¹ НИИП (Научно-исследовательский институт приборостроения, ныне – Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения», ФГУП «РНИИ КП», г. Москва).

¹² Ветераны института должны помнить спутниковые снимки Крыма и акватории Черного и Азовского морей, ежедневно выставляемые для всеобщего обозрения на специальном стенде на проходной лабораторного корпуса.

¹³ Макет станции разработан специалистами концерна «Муссон» (г. Севастополь).

¹⁴ Программный комплекс, обеспечивающий прием, визуализацию и регистрацию спутниковой информации внедрен в Национальном центре управления и испытаний космических средств (НЦУИКС), г. Евпатория.

¹⁵ Методика разработана В.Н. Кудрявцевым и С.А. Гродским, авиационные измерения при ее экспериментальной отработке выполнены с борта самолета-лаборатории АН-30, измерения волнения *in situ* выполнены в экспедиционных рейсах НИС «Профессор Колесников».

¹⁶ РЛС БО выпускалась на производственной базе Научно-исследовательского института радиотехнических измерений (НИИРИ), г. Харьков. В настоящее время – дочернее предприятие «РАДМИР» открытого акционерного общества (ОАО) «НИИРИ».

¹⁷ Память человека не совершенна. Поэтому мы приносим свои извинения не названным нами сотрудникам.

Л и т е р а т у р а

1. Радиоокеанографические исследования морского волнения / под. ред. С.Я. Брауде – Киев.: Изд. АН УССР. 1962. – 116 с.

2. Bass F.G., Fuks I.M., Kalmykov A.I., Ostrovsky I.E. and Rosenberg A.D. Very High Frequency Radiowave Scattering by a Disturbed Sea Surface, Parts I and II // *IEEE Trans. Antennas and Propagat.* 1968. – vol. AP-16. – P. 554–559 and 560–568.

3. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т. Радиоизлучение Земли как планеты. – М.: Наука. 1974. – 188 с.

4. Колесников А.Г., Нелесо Б.А., Ковтушенко В.М. и др. Регрессия океанографической информации с автоматической буйковой станции при помощи ИСЗ «Космос-426» // Докл. АН СССР. 1977. – Том 243, № 1. – С 49–52.

5. Kalmykov A.I., Pustovoytenko, V.V. On polarization features of radio signals scattered from the sea surface at small grazing angles // *Journ. Geoph. Res.* 1976. – Vol. 81, № C12. – P. 1960–1964.
6. Черток Б.Е. Ракеты и люди. Фили – Подлипки – Тюратам. 2-е изд. – М.: Машиностроение. 1999. – 448 с.
7. Басс Ф.Г., Брауде С.Я., Калмыков А.И. и др. Методы радиолокационных исследований морского волнения // *Успехи физических наук.* – 1975. – Том 116, № 4. – С. 741–743.
8. Галаев Ю.М., Большаков А.Н., Калмыков А.И. и др. Влияние загрязнения поверхности моря нефтепродуктами на характеристики радиолокационных сигналов, отраженных при малых углах скольжения // *Морские гидрофизические исследования.* 1976, № 4 (75). – С. 22–28.
9. Калмыков А.И., Пустовойтенко В.В. Радиолокационный измеритель пространственно-временных характеристик морского волнения // *Неконтактные методы измерения океанографических параметров.* – М.: Гидрометеиздат. 1977. – С. 22–30.
10. Галаев Ю.М., Большаков А.Н., Калмыков А.И. и др. Некоторые характеристики радиолокационных отражений поверхностью моря при углах падения, близких к вертикальным (Препринт № 1). – МГИ АН УССР. – Севастополь, 1978. – 22 с.
11. Бушман Ю.О., Калмыков А.И., Пичугин А.П., Штагер Е.А. Дистанционное измерение характеристик морского волнения с помощью радиолокатора и выносного ретранслятора // *Неконтактные методы измерения океанографических параметров.* – М.: Гидрометеиздат. 1983. – С. 6–9.
12. Радиолокация поверхности Земли из космоса / под ред. Л.М. Митника и Л.В. Викторова. – Л.: Гидрометеиздат. 1990. – 200 с.
13. Радиолокационные методы и средства дистанционного зондирования Земли с аэрокосмических носителей / под ред. акад. НАН Украины, д.т.н. С.Н. Коцюхова, чл.-корр. НАН Украины, д.т.н. В.И. Драновского и к.т.н. В.Н. Цымбала. – Киев.: Джулия Принт. 2007. – 440 с.
14. Нелепо Б.А., Терехин Ю.В., Коснырев В.К., Хмыров Б.Е. Спутниковая гидрофизика. – М.: Наука. 1983. – 254 с.
15. Терехин Ю.В. Опыт анализа наблюдений на Черноморском контрольно-калибровочном полигоне в связи с интерпретацией данных ИСЗ «Космос-1500» // *Исследование Земли из космоса.* 1985, № 4. – С. 116–123.
16. Нелепо Б.А., Коротаев Г.К., Суевтин В.С., Терехин Ю.В. Исследования океана из космоса. – Киев: Наук. думка. 1985. – 168 с.
17. Большаков А.Н., Бурдюгов В.М., Гродский С.А., Кудрявцев В.Н. Определение спектра энергонесущих поверхностных волн по изображению солнечного блика // *Исследование Земли из космоса.* 1988, № 5. – С. 11–18.
18. Большаков А.Н., Бурдюгов В.М., Гродский С.А., Кудрявцев В.Н., Проценко В.Г. Определение спектра энергонесущих поверхностных волн по изображению солнечного блика. Сопоставление с контактными данными. // *Исследование Земли из космоса.* 1990, № 1. – С. 20–27.
19. Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Блинков А.Н. и др. Многоцелевой радиолокационный самолетный комплекс исследования Земли (Препринт № 90-21). – ИРЭ АН УССР. – Харьков, 1990. – 35 с.
20. Христофоров Г.Н., Запевалов А.С., Шутов А.П., Смолов В.Е., Опыт измерения широкополосного спектра ветрового волнения в открытом океане // *Морской гидрофизический журнал.* 1986, № 6. – С. 28–32.
21. Запевалов А.С., Христофоров Г.Н., Смолов В.Е. Зависимость амплитудных характеристик высокочастотных компонент спектра ветровых волн от скорости ветра над морем // *Морской гидрофизический журнал.* 1993, № 3. – С. 67–77.
22. Kudryavtsev V., Hauser D., Caudal G. et al. A semi-empirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface. Part 1: The background model // *Journ. Geophys. Res.* 2003. – Vol. 108, № C3. 8054, doi:10.1029/2001JC001003.
23. Kudryavtsev V., Hauser D., Caudal G. et al. A semi-empirical model of the normalized radar cross-section of the sea surface. Part 2: Radar modulation transfer function // *Journ. Geophys. Res.* 2003. – Vol. 108, № C3. 8055, doi:10.1029/2001JC001004.
24. Коротаев Г.К., Еремеев В.Н. Введение в оперативную океанографию Черного моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». 2006. – 382 с.
25. Калмыков А.И., Курекин А.С., Лементга Ю.А., Пустовойтенко В.В. Некоторые особенности обратного рассеяния радиоволн СВЧ диапазона поверхностью моря при малых углах скольжения (Препринт № 40). – ИРЭ АН УССР. – Харьков, 1974. – 38 с.